

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.923.9

DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-179-189

Механизация абразивной обработки деталей из полимерных композитных материалов под операцию склеивания*

Н. В. Козулько**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Abrasive processing mechanization of parts from polymeric composite materials for paste operation***

N. V. Kozulko**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Статья посвящена разработке технологического процесса окончательной абразивной обработки деталей из полимерных композиционных материалов с применением гибкого шлифовального инструмента. Целью исследования является снижение трудоемкости операции путем замены ручного труда на механизированный, а также повышение качества обработанной поверхности.

Материалы и методы. Использован метод подготовки поверхностей деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) под склеивание путем механической абразивной обработки гибким шлифовальным инструментом.

Результаты исследования. Проанализированы характерные особенности формирования микропрофиля поверхностей стеклопластиковых деталей после обработки гибким абразивным инструментом ручным и механическим способами. Выявлена и обоснована необходимость механизации данной операции. Описаны параметры поверхности, влияющие на формирование качественного клеевого соединения. Рассматриваются особенности конструкции гибкого шлифовального инструмента и влияние их на формирование шероховатости поверхности. Сравниваются данные микропрофиля поверхностей, обработанных шлифовальной шкуркой и лепестковым кругом при различных режимах резания.

Обсуждение и заключения. Механическая обработка лепестковыми кругами может заменить операцию ручного зашкуривания деталей из полимерных композиционных материалов, существенно сократить операционное время обработки и улучшить показатели качества поверхностей деталей для склеивания.

Ключевые слова: абразивная обработка, обработка композиционных материалов, зернистость абразива, лепестковый круг, подготовка поверхности, склеивание, шлифовальная шкурка, гибкий шлифовальный инструмент, финишная обработка, микропрофиль поверхности.

Introduction. The development of the final abrasive processing of parts from polymeric composite materials with the use of the flexible grinding tool is considered. The research objective is to reduce the processing time through displacement of human labour by mechanized work, as well as to improve the treated surface quality.

Materials and Methods. The method of surface preparation of parts made of polymeric composite materials (PCM) is used for gluing through the mechanical abrasive treatment with a flexible grinding tool.

Research Results. Characteristic features of forming the surface microprofile of GRP parts after treatment with a flexible abrasive tool by hand and mechanical methods are analyzed. Need for mechanization of the given operation is determined and validated. The surface parameters affecting the formation of a quality adhesive bond are described. The design features of a flexible grinding tool and their effect on the formation of surface roughness are considered. Data of the surface microprofile treated by a grit cloth and a flap wheel under various cutting conditions are compared.

Discussion and Conclusions. Mechanical processing by flap wheels can replace manual sanding of parts made of polymeric composite materials, drastically reduce the operation time, and improve quality rating of the part surfaces for pasting.

Keywords: abrasive processing, processing of composite materials, abrasive grain sizes, flap wheel, surface preparation, pasting, grit cloth, flexible grinding tool, finish operation, surface microprofile.

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

** E-mail: tehn_rostov@mail.ru, natali-ko@mail.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.



Образец для цитирования. Козулько, Н. В. Механизация абразивной обработки деталей из полимерных композитных материалов под операцию склеивание / Козулько Н. В // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т.18, №2. — С. 179–189. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-179-189

For citation: N.V. Kozulko. Abrasive processing mechanization of parts from polymeric composite materials for paste operation. Vestnik of DSTU, 2018, vol. 18, no.2, pp. 179–189. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-179-189

Введение. Эффективность работы предприятия во многом зависит от технологической проработки процесса изготовления детали. Операция склеивания является одним из распространенных способов соединения деталей. Чаще всего склеивание применяется при сборке конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Такое соединение позволяет добиться высокой прочности без повреждений волокон композита, в отличие от резьбовых или клепочных соединений, где предварительно выполняется отверстие для установки крепежа [1]. Для получения качественного клеевого соединения, отвечающего конструкторским и эксплуатационным требованиям, необходимо строго соблюдать все технологические рекомендации по подготовке деталей к склеиванию. Наружный слой деталей из ПКМ, подлежащий склеиванию, имеет макро- и микроотклонения от идеальной поверхности, что сильно влияет на прочность клеевого соединения [2]. Поверхность отформованной детали из ПКМ представляет собой верхний слой композита, состоящий из отвержденного связующего с различными неровностями. На ней могут находиться вещества, используемые в качестве разделительных слоев при формовании, а также продукты химических реакций отверждения связующего. Такие соединения и вещества придают поверхности антиадгезионные свойства [3, 4]. Шероховатость поверхности под склеивание должна иметь некоторое оптимальное значение, обеспечивающее технологии максимальную прочность.

Для удаления антиадгезионного слоя и создания оптимальной шероховатости поверхности детали подвергаются механической обработке. На большинстве предприятий по производству изделий из полимеров в качестве инструмента для данной операции применяется шлифовальная шкурка, изготовленная по ГОСТ 13 344–79, ГОСТ 5 009–82 и ГОСТ 10 054–82 [5, 6, 7]. Обработка производится вручную до удаления глянца, убирая с поверхности детали небольшой слой полимеризованного связующего, не повреждая при этом волокон. Существенным недостатком такой обработки деталей из ПКМ является большая трудоемкость операции с применением ручного труда. Обработка крупногабаритных деталей с теоретическим (криволинейным) контуром требует значительного основного времени операции (рис. 1), кроме того увеличивается подготовительно-заключительное время операции.

Во время зашкуривания исполнителю необходимо следить за нажимом на шлифовальный инструмент, так как при недостаточном нажиме глубина обработки будет небольшой, что приводит к наименьшему смачиванию субстрата клеем. При чрезмерном нажиме могут быть повреждены волокна композита и нарушены геометрические параметры детали. При обработке ПКМ шлифовальной шкуркой происходит быстрый износ инструмента, а также засаливание. Листы шлифовальной шкурки необходимо менять по мере износа, чтобы они сохраняли свою режущую способность.

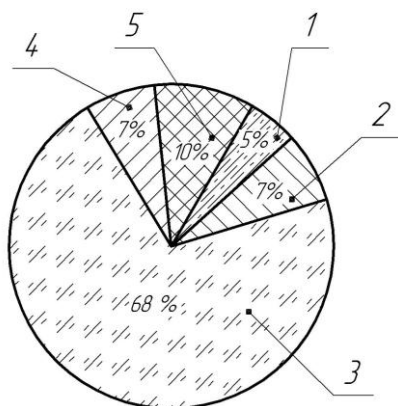


Рис. 1. Диаграмма распределения трудоемкости подготовительной операции к склеиванию: 1 – входной контроль, 2 – очистка поверхности, 3 – зашкуривание шлифовальной шкуркой, 4 – очистка поверхности, 5 – контроль

Fig. 1. Distribution diagram of processing time of pasting preparation: 1 – input control, 2 – surface cleaning, 3 – sanding with grit cloth, 4 – surface cleaning, 5 – control

Причинами низкой механизации операции подготовки поверхностей деталей из ПКМ под склеивание являются такие факторы как:

- недостаток сведений о необходимых параметрах микропрофиля поверхностей из ПКМ под склеивание;
- отсутствие технологических рекомендаций по подбору абразивного инструмента при большом многообразии его на рынке;
- отсутствие исследований влияния параметров абразивного инструмента на формирование микропрофиля поверхности деталей из ПКМ;
- применение шлифовальных головок и лепестковых кругов жесткой конструкции, обработка которыми приводит к повреждению волокон композита.

Снижение трудоемкости и доли ручного труда, повышение стойкости инструмента и обеспечение стабильных характеристик поверхностей осуществляется по двум направлениям. Одним из них является подбор оптимального шлифовального инструмента для механизации процесса зашкуривания. Второе направление предполагает исследование процессов формирования микропрофиля поверхности деталей из ПКМ при различных методах обработки. Работы по изучению соответствующих технологических возможностей и процессов проводились на базе по производству изделий из полимеров для авиационной техники. Ниже приведены некоторые результаты таких исследований.

Выбор инструмента для механизации процесса зашкуривания деталей из ПКМ. Для механизации процесса шлифования авторами было принято решение о применении эластичного шлифовального инструмента. Это инструменты, конструкция и свойства которых допускают значительное перемещение зерен во время работы от статического положения в направлении нормальной составляющей силы резания [8]. Применение такого инструмента позволяет добиться стойкости инструмента, уменьшить напряженность теплового потока, ликвидировать микрорастрескивания поверхностного слоя возникающие при «жестком» шлифовании [9]. Так как большинство полимерных композиционных материалов гигроскопичны, то исключается применение при обработке охлаждающих жидкостей. Таким образом, применение жесткого шлифования или обработка с применением жидких сред недопустимы. Конструкция инструмента на гибкой основе позволяет применять его в процессе «сухого» шлифования. Полимерные композиционные материалы применяются для изготовления деталей с малой жесткостью. Это могут быть обшивки, оболочки, колпаки и т. п. Поэтому, как правило, оказывается целесообразно применять эластичный шлифовальный инструмент. Упругое основание такого инструмента является своеобразным амортизатором, введенным в систему «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД), который способен гасить колебания и вибрации, возникающие при абразивной обработке [8,10].

Учитывая вышеизложенное для механизации были использованы инструменты на гибкой основе: шлифовальные ленты, шлифовальные диски, головки, бруски, лепестковые тарельчатые диски, лепестковые круги, войлочные и губчатые диски. Из перечисленного инструмента практическое применение получило ленточное шлифование с применением бесконечных шлифовальных лент. Но такой способ обработки применим лишь к деталям из ПКМ простой формы и с плоскими поверхностями, так как при наличии уступов, перепадов или сложных контуров в конструкции детали после шлифования, имеются необработанные зоны или чрезмерное снятие материала с нарушением геометрии детали (сглаживание углов, уступов, кромок). Аналогичные дефекты обработки имеются и при шлифовании дисками, брусками, войлочными и губчатыми дисками, у которых плоская рабочая поверхность.

Большинство производителей инструментов предлагают лепестковые круги с жесткой конструкцией лепестков для обработки металла или древесины. В результате, после обработки кругами высокой или средней жесткости происходит разломачивание композита с нарушением целостности волокон, что недопустимо согласно техническим условиям. При обработке металла задача шлифования — уменьшить шероховатость поверхности, а для создания поверхности под клейку необходимо создать оптимальную шероховатость. Инструмент для такой операции должен сформировать необходимый микропрофиль при любых значениях параметра шероховатости (R_a) исходной поверхности [8].

Эффективность процесса шлифования зависит также от режимов обработки — скорости резания, скорости подачи, удельного давления. Следует подобрать скорость вращения круга, при которой происходит стабилизация процесса обработки, т. е. под воздействием центробежных и упругих сил шлифовальные лепестки имеют наилучший контакт с обрабатываемой поверхностью. Изменение скорости подачи и удельного давления при шлифовании (изменение динамического радиуса r_d круга) также влияют на качество поверхности. Динамический радиус r_d круга представляет собой расстояние от центра круга до поверхности соприкосновения лепестков круга с обрабатываемой деталью без включения станка [8, 11].

Экспериментальные исследования. Для финишной обработки были изготовлены образцы из ПКМ, которые представляют собой сегмент обшивки лопасти вертолета размером (80×200) мм. Материал образцов — стеклопластик, состоящий из композиции тканного стеклопластикового полотна и сполимеризованного эпоксидного связующего.

Образцы обрабатывались плоскими шлифовальными дисками из шлифовальной бумаги, бесконечными шлифовальными лентами, фибровым диском, шлифовальными головками. Перечисленный инструмент показал неудовлетворительный результат. При шлифовании инструментом с плоской рабочей поверхностью на образцах имеются необработанные зоны, находящиеся на конструктивных перепадах слоев стеклопластика. Шлифовальные головки и фибровый диск показали себя как инструмент с высокой жесткостью. После шлифования такими кругами имеются зоны с оголением волокон композита и нарушением целостности этих волокон.

Для дальнейшего исследования в качестве инструмента был выбран гибкий абразивный лепестковый круг фирмы Klingspor модели MM 630 с рассеченными ламелями (рис. 2).

Лепестковый круг фирмы Klingspor представляет собой шлифовальную оправку Ø 6, на которой радиально закреплены лепестки шлифовальной шкурки. Каждый лепесток рассечен на 10 равных сегментов. Длина сегмента составляет 50 мм. Лепестки завернуты в одном направлении. Конструкция лепестков и их крепление на оправку позволяет отнести этот круг к очень эластичному инструменту. Данная модель имеет 240 размер зерна по стандарту FERA (Европейская Федерация Абразивных Производителей) [12], что соответствует по ГОСТ 3 647–80 — зернистости М 63 и шлифовальной шкурке № 6 [13].

Для подбора оптимальных режимов обработки круг был установлен в шпиндель вертикально-фрезерного станка и с его помощью обработаны образцы из ПКМ. Выбран диапазон частоты вращения (450–1400) об/мин, скорости подачи (100–800) мм/мин. В таблице 1 приведены результаты обработки лепестковым кругом. Учитывая конструкцию и эластичность круга, обработку производили при трех значениях r_d : 55 мм, 60 мм, 65 мм. Данные значения r_d приняты с учетом максимальной, средней и минимальной площади контакта лепестков с обрабатываемой поверхностью без включения станка. Образцы устанавливались в специальных ложементы и были закреплены при помощи прижимных планок.

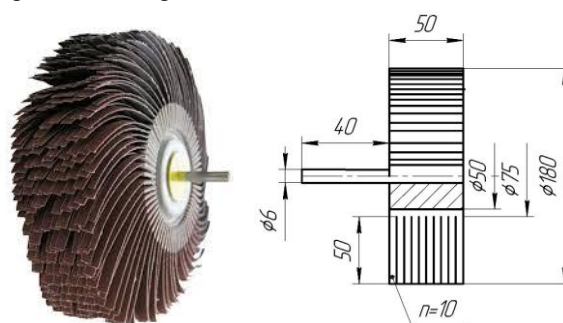


Рис. 2. Лепестковый круг фирмы Klingspor модели MM 630:
диаметр — 180 мм; ширина — 50 мм; зерно — электрокорунд;
связка — синтетическая смола

Fig. 2. Flap wheel of Klingspor model MM 630:
diameter - 180 mm; width - 50 mm; grain - alundum;
binder - synthetic resin

Таблица 1
Table 1

Результаты обработки лепестковым кругом Klingspor

Processing effect of Klingspor flap wheel

Номер образца	Частота вращения, об/мин	гД, мм	Подача, мм/мин	Ra, мкм	Номер образца	Частота вращения, об/мин	гД, мм	Подача, мм/мин	Ra, мкм
1	450	55	100	0,954	24			500	0,945
2			200	0,924	25			800	0,841
3			315	0,917	26	1120	60	100	1,23
4			500	0,864	27			200	1,17
5			800	0,809	28			315	1,05
6	700	55	100	1,24	29			500	0,947
7			200	1,07	30			800	0,925
8			315	0,998	31	1400	60	100	1,211
9			500	0,845	33			200	1,169
10			800	0,721	33			315	1,087
11	900	55	100	1,44	34			500	0,846
12			200	1,35	35			800	0,765
13			315	1,07	36	1120	65	100	0,744
14			500	1,11	37			200	0,654
15			800	0,954	38			315	0,654
16	1120	55	100	1,52	39			500	0,521
17			200	1,33	40			800	0,521
18			315	1,18	41	1400	65	100	1,145
19			500	1,06	42			200	1,054
20			800	0,941	43			315	0,954
21	1400	55	100	1,67	44			500	0,741
22			200	1,36	45			800	0,644
23			315	1,22					

Образцы, обработанные лепестковым кругом, имеют равномерную, матовую поверхность, без наличия на ней глянца. Нарушений целостности волокон не наблюдается. Значение параметра шероховатости при выбранных режимах обработки $Ra=1,22$ мкм демонстрируется на профилеграмме (рис. 3).

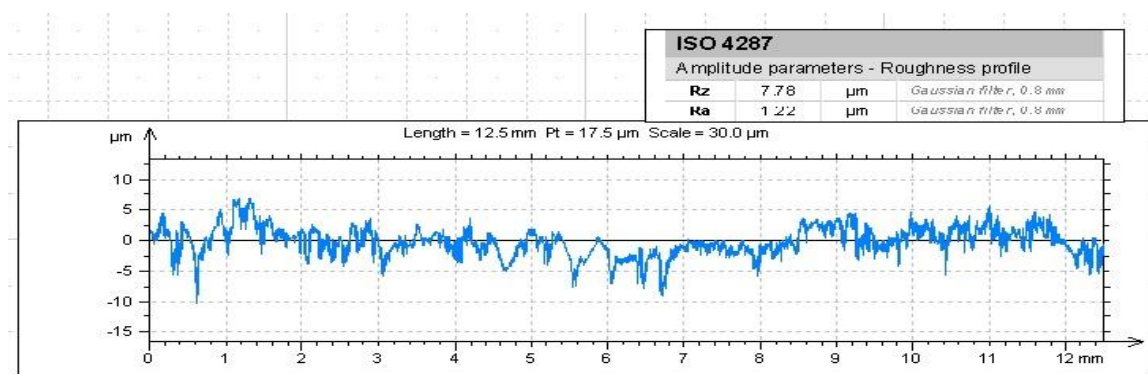


Рис. 3. Профилеграмма поверхности, обработанной лепестковым кругом
при частоте 1400 об/мин, скорости подачи 315 мм/мин
и динамическом радиусе $r_d=55$ мм

*Fig. 3. Profilograph of surface treated with flap wheel at
Frequency of 1400 rpm, feed rate - 315 mm / min and dynamic radius - $r_d = 55$ mm*

После обработки были проведены замеры показателей шероховатости на профилометре Taylor Hobson и визуальный осмотр. Результаты замеров представлены в таблице 1.

В целях подтверждения правильности выбора шлифовального инструмента необходимо сравнить полученные результаты с критериями качественного клеевого соединения [14,15]. Для этого были проведены исследования:

- поверхности образцов до механической обработки;
- эталонной поверхности образца, применяемого для сравнительного контроля на предприятии;
- поверхностей после обработки вручную шлифовальной шкуркой №6 по утвержденной технологии изготовления лопастей.

Ниже приведены результаты замеров шероховатости поверхностей после опрессовки без зашкуривания (рис. 4). Как говорилось ранее, поверхность имеет ярко выраженный пограничный слой в виде глянца, разнотонностей и наличия небольших включений продуктов полимеризации.



Рис. 4. Профилограмма поверхности образца до механической обработки

Fig. 4. Profilograph of sample surface before machining

Эталонный образец представляет собой часть или всю деталь с обработанной поверхностью под склеивание по утвержденной технологии. Изготовление образца производится в присутствии комиссии, состоящей из технолога, конструктора, мастера участка и контролера. Все этапы операции отслеживаются и контролируются на отсутствие нарушений технологии. Внешний вид контрольного образца утверждается заводской комиссией. Поверхность эталонного образца имеет показатель шероховатости $Ra=1,31$ мкм (рис. 5), что выше значения Ra поверхности после опрессовки (рис. 4).

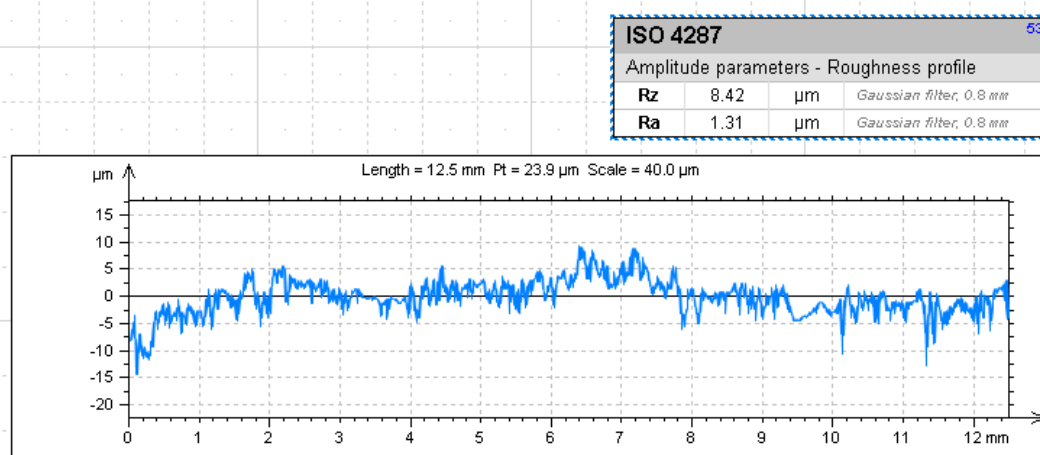


Рис. 5. Профилограмма поверхности эталонного образца

Fig. 5. Profilograph of reference sample surface

Образец обладает матовой поверхностью, на которой отсутствуют необработанные зоны. Шероховатость образцов, обработанных вручную шлифовальной шкуркой № 6, составляет $Ra=1,37$ мкм (рис. 6). Нарушения целостности волокон и наличие глянца не наблюдается.

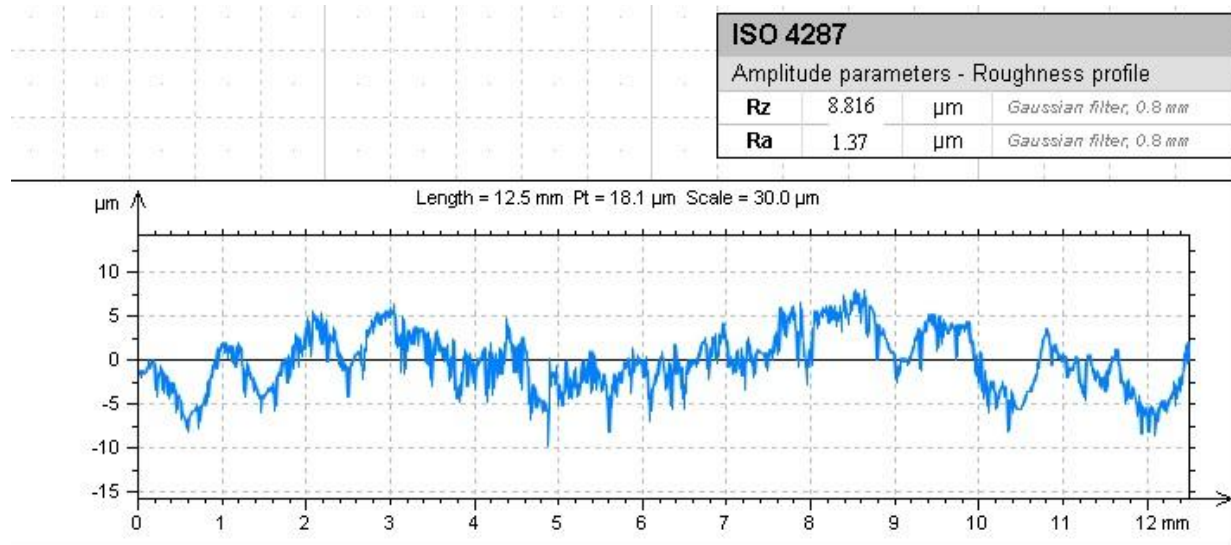


Рис. 6. Профилограмма поверхности, обработанной вручную шлифовальной шкуркой № 6

Fig. 6. Profilograph of surface hand-worked with grit cloth no. 6

Анализ полученных результатов. На подготовительную операцию детали из ПКМ поступают с глянцевой поверхностью и с показателями шероховатости $Ra=0,696$ мкм, что меньше параметров эталонной обработанной поверхности $Ra=1,31$ мкм (рис. 7).

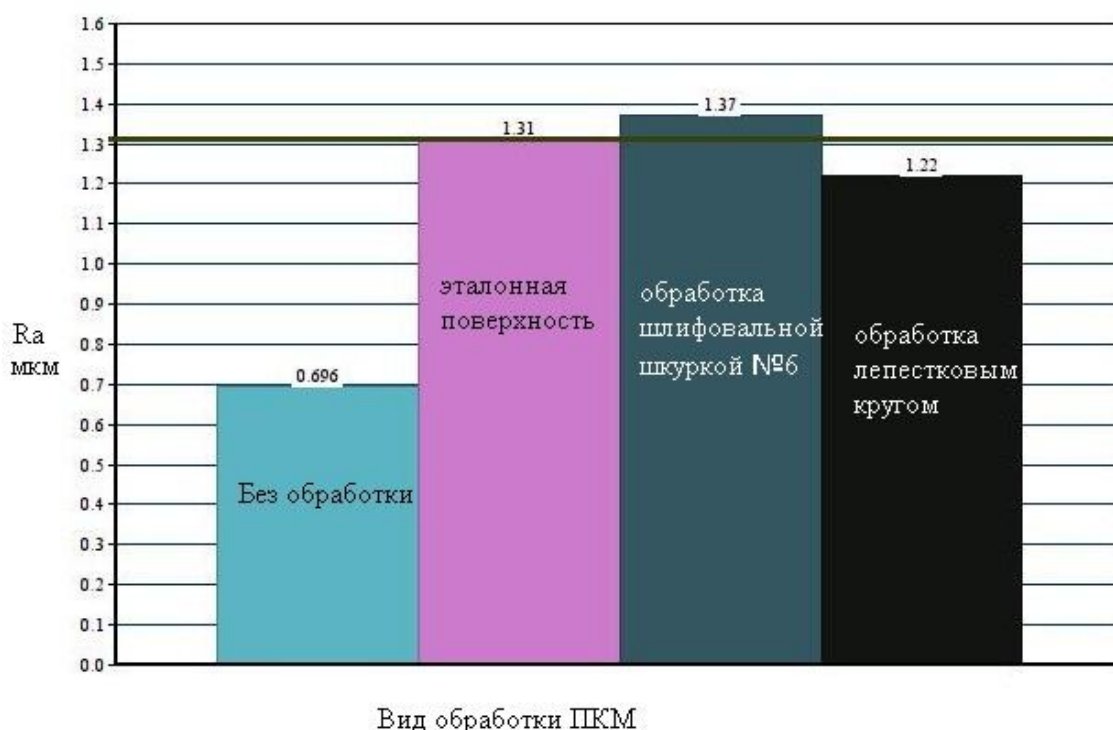


Рис. 7. Сравнение показателей шероховатости поверхностей, обработанных различными способами

Fig. 7. Comparison of roughness indices of surfaces treated in different ways

При соблюдении технологического процесса зашкуривание вручную шлифовальной шкуркой № 6 обеспечивает необходимое качество клеевого соединения. Визуальная оценка качества поверхностей образцов, обработанных шлифовальной шкуркой № 6, совпадает с качеством эталонной поверхности. Ориентируясь на показатели этих поверхностей, можно сказать, что обработка лепестковым кругом также дает возможность по-

лучить поверхность, удовлетворяющую требованиям технической документации. Незначительное уменьшение шероховатости при обработке лепестковым кругом, по сравнению с зашкуриванием шлифовальной шкуркой, происходит за счет равномерного распределения радиальной нагрузки в процессе всего времени обработки.

Влияние скорости резания, подачи и динамического радиуса при шлифовании можно проанализировать на графиках (рис. 8, 9, 10), где представлены зависимости параметров микропрофиля сформированной поверхности от условий резания.

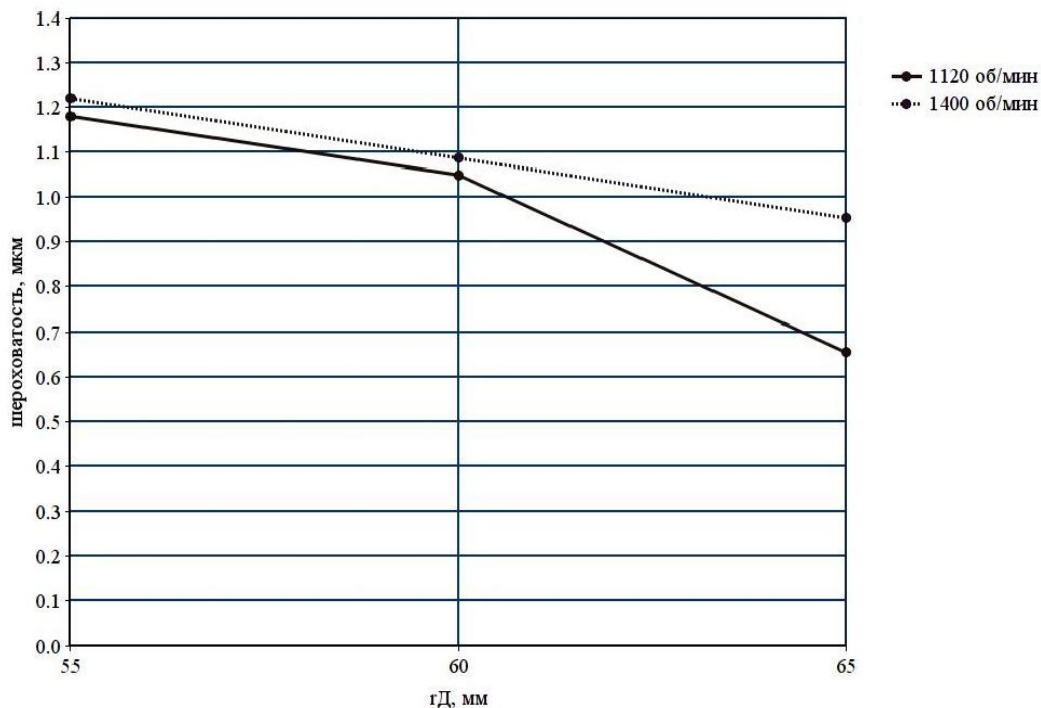


Рис. 8. Влияние динамического радиуса r_d на параметр Ra при подаче $S=315$ мм/мин

Fig. 8. Dynamic radius r_d effect on parameter Ra when applying $S = 315$ mm / min

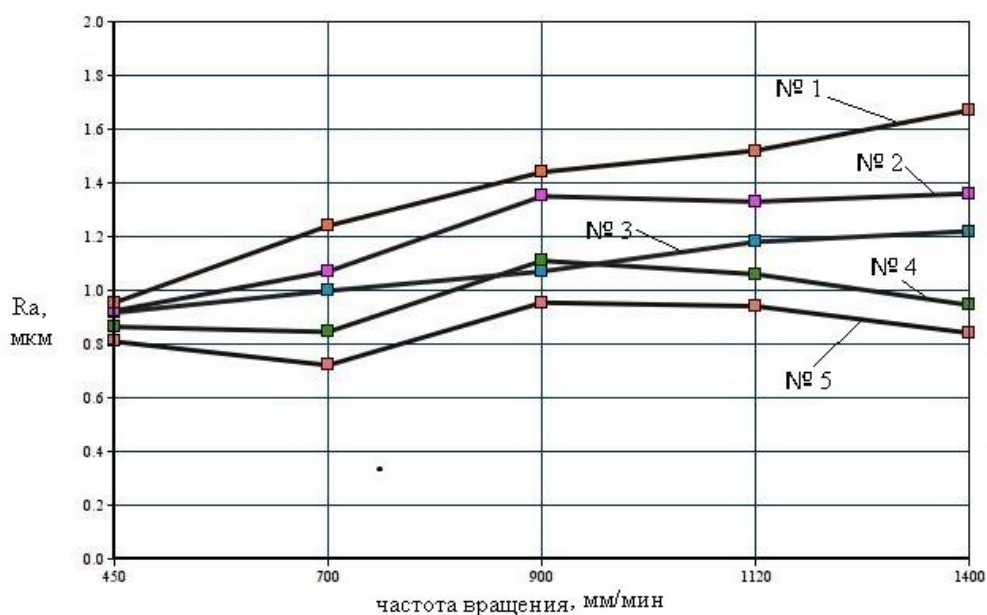


Рис. 9. Влияние частоты вращения шпинделя и подачи на параметр Ra при различных подачах: №1 — 100 мм/мин; №2 — 200 мм/мин; №3 — 315 мм/мин; №4 — 500 мм/мин; №5 — 800 мм/мин

Fig. 9. Effect of spindle speed and feed rate on parameter Ra at various feed rates: no. 1 - 100 mm/min; no. 2 - 200 mm/min; no. 3 - 315 mm/min; no. 4 - 500 mm/min; no. 5 - 800 mm/min

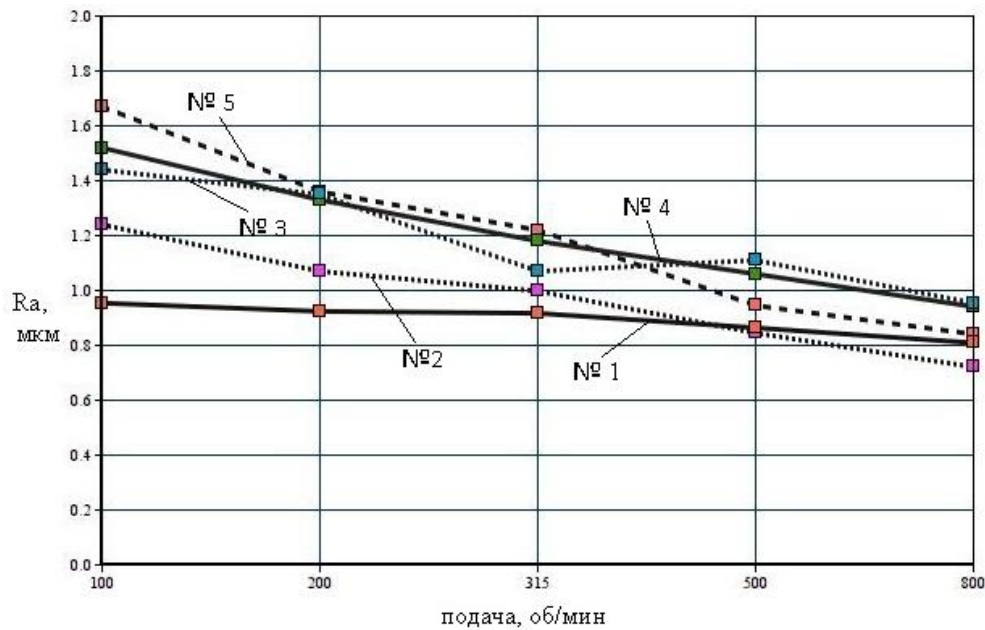


Рис. 10. Влияние частоты вращения шпинделя и подачи на параметр Ra при различной частоте: №1 — 450 об/мин; №2 — 700 об/мин; №3 — 900 об/мин; №4 — 1120 об/мин; №5 — 1400 об/мин

Fig. 10. Effect of spindle speed and feed rate on parameter Ra at various frequencies: no. 1 - 450 rpm; no. 2 - 700 rpm; no. 3 - 900 rpm; no. 4 - 1120 rpm; no. 5 - 1400 rpm

Данные графиков на рисунках 8, 9, 10 демонстрируют следующее:

- при увеличении частоты оборотов шпинделя шероховатость возрастает;
- при увеличении скорости подачи шероховатость уменьшается;
- уменьшение динамического радиуса круга гД приводит к увеличению шероховатости;
- меньшее значение шероховатости совпадает с неудовлетворительными показателями состояния поверхности.

Полученные данные показывают, что увеличение шероховатости и формирование равномерно обработанной поверхности происходит в результате упругих деформаций лепестков и под влиянием центробежных сил. Под влиянием нормального ускорения лепестки прижимаются к обрабатываемой поверхности. С увеличением скорости вращения круга силы резания монотонно возрастают. При этом возрастает число контактирующих лепестков и, как следствие, улучшение режущей способности инструмента. К обратному результату приводит увеличение скорости подачи. Число контактирующих лепестков уменьшается и снижается количество одиночных резов абразивным зерном, приходящихся на единицу площади обрабатываемой поверхности. Уменьшение параметров шероховатости при увеличении динамического радиуса объясняется конструктивными особенностями инструмента. В покое лепестки находятся в свернутом состоянии, под воздействием центробежных сил они стремятся выпрямиться. Следовательно, пятно контакта лепестков с деталью будет меньше при большем отдалении оси вращения инструмента от обрабатываемой поверхности. Это и приводит к снижению режущей способности абразивных зерен.

При визуальном осмотре обработанных образцов равномерность поверхности демонстрируют образцы, обработанные при частоте оборотов 1120 об/мин и 1400 об/мин, скорости подачи 200 мм/мин и 315 мм/мин и динамическом радиусе $r_d=55$ мм. При $r_d=60$ мм и $r_d=65$ мм образцы имеют четкие зоны незашлифованной поверхности. Следует отметить, что на всех образцах отсутствуют механические повреждения волокон, а также сколы, трещины и расслоения.

Сравнивая с ранее замеренными параметрами шероховатости образца, обработанного вручную шлифовальной шкуркой № 6 (рис. 7), и учитывая качество обработанных образцов, можно сказать, что наилучшими режимами для данного круга являются:

- частота вращения шпинделя 1120–1400 об/мин;
- скорость подачи 200–500 мм/мин;
- динамический радиус 55 мм.

Предложенный способ механической обработки, по сравнению с ручным зашкуриванием, позволяет сократить основное время операции примерно на 80%.

Данный лепестковый круг показал себя как пригодный режущий инструмент для работы на стационарном оборудовании (станках). Геометрические параметры и конструкция позволяют закрепить его на станке без дополнительной специальной оснастки.

Приведенные результаты исследований позволяют сделать вывод, что для улучшения качественных показателей поверхностного слоя следует работать при определенном диапазоне значений окружной скорости круга и скорости подачи.

Заключение. Приведенные результаты исследований позволяют сделать вывод, что для улучшения качественных показателей обрабатываемого поверхностного слоя следует соблюдать определенный диапазон значений окружной скорости круга и скорости подачи. Полученные данные следует учитывать при механизации процесса предварительной подготовки поверхностей деталей из ПКМ к склеиванию. Применение очень эластичного лепесткового круга для данной операции позволит сократить основной цикл обработки без существенных затрат на дополнительную оснастку или оборудование. Установлено, что поверхность, обработанная лепестковым кругом, имеет более равномерную шероховатость поверхности, без зон чрезмерного или недостаточного зашкуривания. Исследования показали, что на формирование микропрофиля поверхности влияют такие факторы, как конструкция инструмента, зернистость шлифовального материала, режимы обработки. Предложенный способ механической обработки существенно сокращает основное время операции по подготовке поверхности под склеивание, что приводит в росту технико-экономических показателей.

Библиографический список

1. Сироткин, О. С. Проектирование, расчет и технология соединения в авиационной технике / О. С. Сироткин, В. И. Гришин, В. Б. Литвинов — Москва : Машиностроение, 2006. — 452 с.
2. Вильнав, Ж.-Ж. Клеевые соединения / Ж.-Ж. Вильнав. — Москва : Техносфера, 2007. — 384 с.
3. Benson, A.-F. Adhesives advance assembly / A.-F. Benson // Assembly. — 1991. — September. — P. 12–15.
4. Karlsson, H. Quality Assurance in Adhesive Joining Technology / H. Karlsson // Assembly Automation. — 1997. — Vol. 17, № 1. — P. 48–55.
5. Межгосударственный стандарт. Шкурка шлифовальная тканевая водостойкая. Технические условия: ГОСТ 13344-79 / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Москва : ИПК Издательство стандартов, июль 2003г. — 6 с.
6. Межгосударственный стандарт. Шкурка шлифовальная тканевая и бумажная. Технические условия: ГОСТ 5009-82/ Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Москва : ИПК Издательство стандартов, ноябрь 2001г. — 10 с.
7. Межгосударственный стандарт. Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая. Технические условия: ГОСТ 10054-82 / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Москва : ИПК Издательство стандартов, июнь 1990 г. — 34 с.
8. Щеголев, В. А. Эластичные абразивные и алмазные инструменты (теория, конструкция, применение) / В. А. Щеголев, М. Е. Уланова. — Ленинград: Машиностроение, 1977. — 184 с.
9. Гдалевич, А. И. Финишная обработка лепестковыми кругами / А. И. Гдалевич. — Москва: Машиностроение, 1990. — 112 с.
10. Димов, Ю. В. Обработка деталей эластичным инструментом: справочник / Ю. В. Димов. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. — 484 с.
11. Dimov, Yu.V. Interaction of Lobed Wheel with Machined Surface / Yu. V. Dimov, A. V. Shmatkova // Russian Engineering Research. — 2011. — № 7. — P. 707–711.
12. Информационные системы / Federation of European Producers of Abrasives. — Режим доступа: <https://www.fepa-abrasives.com/> (дата обращения : 15.04.17).
13. Межгосударственный стандарт. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля : ГОСТ 3647-80 / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности. — Москва : ИПК Издательство стандартов, июнь 2004 г. — 18 с.
14. Табенкин, А. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов, С. Н. Степанов. — Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 136 с.
15. Packham, D.-E. Work of adhesion: contact angles and contact mechanics / D.-E. Packham // International Journal of Adhesion and Adhesives. — 1996. — Vol. 16. — P. 121-128.

References

1. Sirotkin, O.S., Grishin, V.I., Litvinov, V.B. Proektirovanie, raschet i tekhnologiya soedineniya v aviatsionnoy tekhnike. [Design, calculation and technology of connection in aeronautical engineering.] Moscow: Mashinostroenie, 2006, 452 p. (in Russian).
2. Vilnav, Zh.-Zh. Kleevye soedineniya. [Adhesive assemblies]. Moscow: Tekhnosfera, 2007, 384 p. (in Russian).
3. Benson, A.-F. Adhesives advance assembly. Assembly, 1991, September, pp. 12–15.
4. Karlsson, H. Quality Assurance in Adhesive Joining Technology. Assembly Automation, 1997, vol. 17, no. 1, pp. 48–55.
5. Mezghosudarstvennyy standart. Shkurka shlifoval'naya tkanevaya vodostoykaya. Tekhnicheskie usloviya: GOST 13344-79. [Interstate Standard. Waterproof abrasive cloth. Specifications: GOST 13344-79.] USSR Ministry of Machine-Tool and Toolmaking Industry. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, July 2003, 6 p. (in Russian).
6. Mezghosudarstvennyy standart. Shkurka shlifoval'naya tkanevaya i bumazhnaya. Tekhnicheskie usloviya: GOST 5009-82. [Interstate Standard. Abrasive cloth. Specifications: GOST 5009-82.] USSR Ministry of Machine-Tool and Toolmaking Industry. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, November 2001, 10 p. (in Russian).
7. Mezghosudarstvennyy standart. Shkurka shlifoval'naya bumazhnaya vodostoykaya. Tekhnicheskie usloviya: GOST 10054-82. [Interstate Standard. Waterproof abrasive paper. Specifications: GOST 10054-82.] USSR Ministry of Machine-Tool and Toolmaking Industry. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, June 1990, 34 p. (in Russian).
8. Shchegolev, V.A., Ulanova, M.E. Elastichnye abrazivnye i almaznye instrumenty (teoriya, konstruktsiya, primeneniye). [Elastic abrasive and diamond tools (theory, design, application).] Leningrad: Mashinostroenie, 1977, 184 p. (in Russian).
9. Gdalevich, A.I. Finishnaya obrabotka lepestkovymi krugami. [Finishing with flap wheels.] Moscow: Mashinostroenie, 1990, 112 p. (in Russian).
10. Dimov, Yu.V. Obrabotka detaley elastichnym instrumentom: spravochnik. [Part processing by elastic tools: reference book] Irkutsk: IrSTU Publ. House, 2013, 484 p. (in Russian).
11. Dimov, Yu.V., Shmatkova, A.V. Interaction of Lobed Wheel with Machined Surface. Russian Engineering Research, 2011, no. 7, pp. 707–711.
12. Informatsionnye sistemy. [IT systems.] Federation of European Producers of Abrasives. Available at: <https://www.fepa-abrasives.com/> (accessed: 15.04.17) (in Russian).
13. Mezghosudarstvennyy standart. Materialy shlifoval'nye. Klassifikatsiya. Zernistost' i zernovoy sostav. Metody kontrolya: GOST 3647-80. [Interstate Standard. Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods: GOST 3647-80.] USSR Ministry of Machine-Tool and Toolmaking Industry. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, June 2004, 18 p. (in Russian).
14. Tabenkin, A.N., Tarasov, S.B., Stepanov, S.N. Sherokhovatost', volnistost', profil'. Mezhdunarodnyy opyt. [Roughness, waviness, profile. International experience.] St. Petersburg: Politech. Uni. Publ. House, 2007, 136 p. (in Russian).
15. Packham, D.-E. Work of adhesion: contact angles and contact mechanics. International Journal of Adhesion and Adhesives, 1996, vol. 16, pp. 121–128.

Поступила в редакцию 27.03.2018
Сдана в редакцию 27.03.2018
Запланирована в номер 17.04.2018

Received 27.03.2018
Submitted 27.03.2018
Scheduled in the issue 17.04.2018

Об авторе:

Козулько Наталья Владимировна,
аспирант кафедры «Технология машиностроения»
Донского государственного технического университе-
та, (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-9224>
natali-ko@mail.ru

Autor:

Kozulko, Natalia V.,
postgraduate student of the Engineering Technology De-
partment, Don State Technical University (RF, 344000,
Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-9224>
natali-ko@mail.ru